

審査の結果の要旨

氏名 屈 曉磊

従来の医療用超音波画像診断システムは、超音波ビームフォーミングの際、人体組織における音速を一定で仮定している。しかし、実際には人体の音速は組織によって異なる。この仮定と実際との差異は、空間的変位およびデフォーカスを生じさせ、超音波画像を劣化させる。また、同一組織においても、病変により音速が変化する場合がある。例えば、脂肪肝の音速は正常肝の音速より遅い一方、肝硬変になると音速は正常肝の音速より速くなる。このことから、生体組織における音速の推定により、超音波画像の劣化を補正するだけでなく、重要な診断情報の取得も可能である。本論文は生体組織での平均音速の推定により画像劣化の補正と、音速を用いた脂肪肝診断について研究したものである。

本論文では、超音波画像の横方向の相関を用いた、多層構造も対応可能な平均音速推定法を提案している。提案手法が重要な診断情報を提供することが可能であることを検証するため、脂肪肝診断を想定し、肝臓と脂肪の2層構造を模擬した *in vitro* 実験で確認した。提案手法を用いた超音波画像の劣化補正を、ファントム実験および *in vitro* 実験で確認した。

第1章では、本論文の背景とイントロダクションを述べている。まず歴史および現在の医療用超音波イメージングについて紹介している。次に超音波ビームフォーミング時に用いる音速のミスマッチ問題について述べ、先行研究での平均音速推定法を紹介している。最後に、音速推定に基づいた病変診断について述べている。

第2章では、音速のミスマッチによる画像劣化について解析している。まず、超音波イメージング原理と方法を詳しく述べている。次に音速のミスマッチによる画像の空間的な変位および画像のデフォーカスについて理論的に分析している。

第3章では、音速推定に関する提案手法および従来手法を紹介している。ま

ず、従来手法である画像レジストレーション法および輝度法について簡単に述べ、それぞれの利点と欠点について解析している。次に超音波画像の横方向の相関を用いた平均音速推定法を提案している。さらに、多層構造の対応方法を紹介している。最後に提案手法に反復アルゴリズムを組み合わせた、音速推定時間の短縮法について述べている。

第4章では、提案手法の検証のため、6つの実験及びシミュレーションを行っている。まず、手法の各段階での途中結果を示す。次に、音速が均一な組織の超音波画像をシミュレーションにより作成し、提案手法と従来手法の音速推定精度を評価し比較している。さらに、音速が均一なファントムを用いた実験及び、2層のファントムを用いた実験を行い、音速推定精度の評価を行っている。次に、動物の正常肝および脂肪肝を用いて *in vitro* 実験を行っている。この実験では、まず直接肝臓の画像取得を行い、提案手法の評価を行った。次に対象を油に入れ、肝臓と脂肪の2層構造を模擬して評価した。提案手法で推定した正常肝の音速は 1558.08 ± 10.19 m/s、脂肪肝の音速は 1474.16 ± 10.56 m/s であった。この結果から、推定した音速を用いた脂肪肝と正常肝の判別が可能であることを確認した。この結果は、提案手法を用いた脂肪肝診断の適用可能性を示している。次に、構造が複雑で不均質な物体における、提案手法の平均音速推定の精度評価を行っている。提案手法の推定精度が、(1)均一な背景と不均一な領域との音速差、(2)不均一な領域の直径および(3)不均一な領域の割合に影響されることがわかった。この実験では、構造が複雑で不均質な物体に対して、提案手法の精度を定量的に示した。最後に、提案する音速推定法を用いた超音波画像の空間的変位の補正について評価した。

第5章では、本研究の考察及び結論を述べている。

以上をまとめると、本研究では、超音波画像の横方向の相関に基づく、多層構造も対応可能な生体軟組織の平均音速推定法を提案した。肝臓と脂肪の2層構造を模擬した *in vitro* 実験により、脂肪肝診断の可能性を確認した。また構造が複雑で不均質な物体に対して数値解析実験を行い、提案手法の適用限界を確認した。これらの成果より、本研究はバイオエンジニアリング分野に貢献していると判断できる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。